

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 01 NOV 2000	
WIPO	PCT

10/089528

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 199 48 298.5

**Anmeldetag:** 6. Oktober 1999

**Anmelder/Inhaber:** VOLKSWAGEN Aktiengesellschaft, Wolfsburg/DE

**Bezeichnung:** Direkteinspritzende Brennkraftmaschine mit NOx-reduzierter Emission

**IPC:** F 02 B, F 02 D, F 01 N

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. August 2000  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Agurks



K 8379/1770-hvb-as

## **Direkteinspritzende Brennkraftmaschine mit NOx-reduzierter Emission**

Die Erfindung betrifft eine direkteinspritzende Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus EP 0 560 991 B und EP 0 580 389 B sind Einrichtungen zur NOx-Minderung bei mager betriebenen Brennkraftmaschinen bekannt. Das Prinzip hierbei ist die Speicherung des insbesondere während des Magerbetriebs der Brennkraftmaschine entstehenden NOx in einem NOx-Speicherkatalysator und Freisetzen des gespeicherten NOx unter gleichzeitiger Reduktion durch einen kurzzeitigen Fettbetrieb der Brennkraftmaschine. Diese NOx-Umsetzung eignet sich insbesondere auch bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen. Mit der beschriebenen NOx-Umsetzung lassen sich bereits verhältnismäßig hohe Konversionsraten erreichen, wobei insbesondere zur Vermeidung der NOx-Rohemission eine Abgasrückführung in Kombination mit dem NOx-Speicherkatalysator eingesetzt werden kann.

Durch die Abgasrückführung wird die NOx-Rohemission grundsätzlich deutlich abgesenkt. Besonders wichtig ist diese Maßnahme bei mager betriebenen, direkteinspritzenden Ottomotoren mit NOx-reduzierendem Abgasnachbehandlungssystem, insbesondere NOx-Speicherkatalysatoren, da die Magerkonvertierung sehr hohe NOx-Rohemissionen, wie sie insbesondere im homogenen Magerbetrieb bei  $\lambda = 1,1$  bis  $1,4$  oder auch im geschichteten Magerbetrieb bei  $\lambda = 1,6$  bis  $4$  auftreten, selbst bei der Verwendung von NOx-Speicherkatalysatoren, möglicherweise als Folge einer Diffusionshemmung an der Speicherkatalysatoroberfläche, einbrechen kann.

Weiterhin führt das rückgeführte Abgas zu einer Verschleppung der Verbrennung, die zum einen durch die abgesenkte Verbrennungstemperatur ebenfalls NOx-mindernd wirkt, zum anderen eine Verbesserung des Kraftstoffverbrauches bewirkt, da die Schwerepunktlage des Kraftstoffumsatzes, der typischerweise bei direkteinspritzenden

Ottomotoren im geschichteten Magerbetrieb zu früh im Zyklus ist, in Richtung auf die optimale Position verschoben wird.

Das heiße, rückgeführte Abgas kann außerdem bei geeigneter Dosierung auch zu einer Stabilisierung der Verbrennung im geschichteten Magerbetrieb führen, da die durch die Abgasrückführung erhöhte Temperatur die Gemischbildung, die prinzipbedingt durch die bei dieser Betriebsart späten Einspritzung auf sehr kleinen Zeitskalen ablaufen muß, unterstützt wird.

Der Anteil des rückgeführten Abgases im Brennraum darf jedoch auch nicht zu hoch gewählt werden, um genügend Frischgas für die Kraftstoffverbrennung bereit zu stellen. Bei zu hohen Abgasrückführraten erfolgt eine unvollständige Verbrennung, wodurch der Verbrauch und HC/CO-Emissionen wieder zunehmen und die Laufruhe des Motors abnimmt.

Bei der üblicherweise durchgeführten externen Abgasrückführung (Abgreifen des Abgases nach der Brennkammer, insbesondere am Abgaskrümmern, und Rückleitung an die Saugseite der Brennkraftmaschine) ist eine homogene Verteilung des Abgases auf die einzelnen Zylinder konstruktiv nur mit hohem Aufwand möglich. Überdies ist die Abgasrückführleistung in dem bei einer Brennkraftmaschine insbesondere vorliegenden dynamischen Betrieb durch die Zeitverzögerung der Abgasrückführleitung und des Saugrohrvolumens und die wechselnden Druckverhältnisse auf der Saug- und Abgasseite nur schwer an Soll-Vorgaben anzupassen und einzuregulieren. Entsprechend kann sich die Abgasrückführleistung zwischen den einzelnen Zylindern erheblich unterscheiden und ein Unterschreiten von unerwünschten Minimalwerten bzw. Überschreiten von unerwünschten Maximalwerten kann nicht sicher ausgeschlossen werden.

Alternativ oder zusätzlich zur externen Abgasrückführung ist die innere Abgasrückführung bekannt, bei der durch Verstellen der Einlaß- bzw. Auslaßzeiten zueinander, insbesondere durch Verstellen der Einlaßnockenwelle in Richtung „FRÜH“, ein Verbleib eines Restgasanteils im Zylinder ermöglicht wird. Der Vorteil dieses Verfahrens ist neben der genauen zylinderindividuellen Zumessung, daß das Restgas bereits am nächsten Verbrennungsvorgang teil nimmt und die oben beschriebenen Totzeiten sowie die großen Abweichungen von einer Sollvorgabe weitgehend entfallen. Aufgrund der höheren

Temperatur des intern zurückgeführten Abgases ist auch der Einfluß auf die Gemischbildung deutlicher und kann gezielter genutzt werden.

Die beschriebenen Vorteile der inneren Abgasrückführung werden bei den ersten, sich im Markt befindlichen direkteinspritzenden DI-Ottomotoren genutzt, die neben einer äußeren auch über eine innere Abgasrückführung mit Einlaß-Nockenwellenverstellung und eine Abgasreinigung mittels NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator aufweisen. Zur Gemischbildung kommt bei diesen Brennkraftmaschinen ein Swirlkonzept zur Ladungsbewegung zum Einsatz, bei dem den angesaugten Gasen im Zylinder eine Rotationsbewegung aufgezwungen wird, wobei die Rotationsachse annähernd parallel zur Kolbenbewegung/Zylinderachse verläuft. Dabei wird ein stehender Luftwirbel im Brennraum erzeugt, in den der Kraftstoffstrahl eingespritzt und zur Zündkerze geführt wird. Solche Brennverfahren weisen im Zusammenhang mit einem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator bereits recht geringe NO<sub>x</sub>-Emissionen auf.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, bei einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine mit NO<sub>x</sub>-reduzierender Abgasnachbehandlung den Brennablauf zusammen mit der Abgasnachbehandlung so zu optimieren, daß besonders niedrige NO<sub>x</sub>-Emissionswerte erhalten werden.

Gelöst wird diese Aufgabe bei der vorliegenden Erfindung mit der Kombination der Merkmale gemäß dem Anspruch 1.

Die Unteransprüche beschreiben weitere Merkmale, mit denen sich einzeln sowie in Kombination besonders günstige Emissionswerte erzielen lassen.

Erfindungsgemäß wird mit einer speziellen Kombination einzelner abgasreduzierender Schritte eine besonders niedrige Emission von Schadstoffen, insbesondere von NO<sub>x</sub>, erreicht, so daß nunmehr auch bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen niedrigste Abgasnormen, wie beispielsweise D4 erreicht werden können. Möglich wird dies bei einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine durch eine innere Abgasrückführung (EGR), insbesondere in Kombination mit einer äußeren EGR, einer NO<sub>x</sub>-reduzierenden Abgasnachbehandlung sowie einer Drallbewegung der einströmenden (Frisch-) Gase, die überwiegend quer zur Kolbenbewegung verläuft. Vorzugsweise kommt hier eine Tumblebewegung der einströmenden Gase zum Einsatz, die vorteilhaft durch ein

Tumbleblech im Ansaugkanal erzeugt wird. Bei einer solchen Tumblebewegung stürzen die einströmenden Gase rollend in den Zylinderinnenraum, wobei die Rollbewegung um eine Achse quer zu Kolbenbewegung erfolgt. Der Einsatz eines Tumbleblechs erfolgt vorzugsweise mit einer bedarfsgerechten Umschaltung von einer Strömung mit Tumbledrall auf eine gewöhnliche Füllung des Zylinderraumes, wie es beispielsweise bei einem Lambda-1-Betrieb (Regeneration des Speicherkatalysators, hohe Motorlast) üblich ist.

Durch die Kombination der inneren EGR mit der äußeren EGR kann eine weitere Anhebung der Abgasrückführrate erreicht werden, so daß mit niedrigstem Sauerstoffüberschuß gefahren werden kann. Hierbei ist es außerdem möglich, die äußere EGR mittels eines Abgasrückführungskühlers zu kühlen, so daß die Brennraumtemperatur nicht zu hoch ansteigt. Die äußere EGR wird üblicherweise mittels eines Ventils geregelt.

Erfindungsgemäß liegt die Drallachse vorzugsweise in einem Bereich  $\pm 15^\circ$  zur Kolbenbewegung, in diesem Bereich entstehen die niedrigsten NO<sub>x</sub>-Emissionen.

Insbesondere wird erfindungsgemäß zur NO<sub>x</sub>-reduzierenden Abgasnachbehandlung ein NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator eingesetzt, der über mehrere Sekunden (üblicherweise bis ca. 2 min.) die Stickoxide der Abgasrohmissionen speichert, beispielsweise als Bariumnitrat, und unter Reduktion während eines Betriebes mit  $\text{Lambda} \leq 1$  (oder auch wenig über  $\text{Lambda} = 1$ ) regeneriert wird. Solche Speicherkatalysatoren sind aus den Eingangs erwähnten europäischen Patentschriften bekannt.

Mit der vorliegenden Erfindung läßt sich besonders günstig ein NO<sub>x</sub>-Sensor nach dem NO<sub>x</sub>-reduzierenden Schritt der Abgasnachbehandlung einsetzen, insbesondere in Verbindung mit einem Speicherkatalysator. Bei den bisherigen Betriebssystemen ohne die Tumblebewegung waren leichte NO<sub>x</sub>-Durchbrüche möglich, die von dem NO<sub>x</sub>-Sensor fälschlich als zu regenerierender Speicherkatalysator ausgewertet wurden, so daß zu häufig ein Kraftstoffverbrauch steigernde Regeneration statt fand. Erst durch den Einsatz der Tumblebewegung wurden die NO<sub>x</sub>-Spitzen vermieden, so daß der NO<sub>x</sub>-Sensor nach dem Speicherkatalysator erst erfindungsgemäß verlässliche Speicherraten und damit Speicherfüllgrade des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators signalisiert.

Erfindungsgemäß hat es sich gezeigt, daß zur optimalen NOx-Minderung eine möglichst gute Durchmischung des rückgeführten Abgases mit Frischluft zu beachten ist, da nur so im gesamten Brennraum die an der NOx-Bildung beteiligten Sauerstoffmoleküle teilweise durch Inertgas (Abgas) ersetzt werden können. Die Entstehung schnell brennender lokaler Zonen mit hohem Sauerstoffanteil, die überproportional zur NOx-Bildung beitragen, werden erfindungsgemäß vermieden. Diese Besonderheit ist besonders beim direkteinspritzenden Ottomotor von Bedeutung, um hier das Potential der inneren Abgasrückführung möglichst weitgehend ausnutzen zu können.

Die Erfindung wird anhand eines Ausführungsbeispiels und Figuren näher beschrieben.

Es zeigen

Figur 1: einen Brennverlauf gemäß dem Stand der Technik (Swirlkonzept);

Figur 2: den erfindungsgemäßen Brennverlauf (Tumblekonzept);

Figur 3: eine graphische Darstellung der beiden Konzepte; und

Figur 4: eine Gesamtdarstellung des erfindungsgemäßen Konzepts.

Erfindungsgemäße Untersuchungen zeigten, daß die Vermischung der Frischluft 6 mit dem im Brennraum 1 (Fig. 1a, Kolben 2 ist oben, durch gleichzeitig geöffnete Ein- und Auslaßventile (Fig. 4) verbleibenden Abgas 3 der inneren Abgasrückführung bei der Swirlverwirbelung 7 (Drallachse im wesentlichen zur Kolbenbewegung/Zylinderachse ausgerichtet) suboptimal ist. Das Restgas 3 der inneren EGR verbleibt während des Ansaug- und Verdichtungstaktes (Fig. 1b/c) durch die Wirkung der Swirlströmung 7 in Kolbenbodennähe, das angesaugte (überwiegend Frischluft enthaltende) Frischgas 3 wird anschließend im Ansaugtakt (Fig. 1b, Kolben 2 fährt nach unten) über das Restgas 3 geschichtet. Da die swirlförmige Gasbewegung 7 nur wenig Impulse in Richtung der Kolbenbewegung aufweist, wird diese Schichtung (ohne wesentliche Durchmischung) während der Verdichtung weitgehend aufrecht erhalten (Fig. 1c Kolben fährt nach oben). Der gegen Ende der Verdichtung eingespritzte Kraftstoff 8 (Einspritzdüse nicht dargestellt) wird teilweise in fast reine Frischluft 6, teilweise in inhomogene Mischzonen 5 mit wechselnden Frischluft-Restgas-Verhältnissen

und teilweise in nahezu reines Restgas 3 eingespritzt (Fig. 1c). Während der Umsetzung (gezündet durch Zündkerze 4) können somit in der Flammfront Restgasanteile von nahe 0 % bis nahe 100 % auftreten, nur in kleinen Bereichen des Brennraums 1 liegt lokal der annähernd optimale Restgasanteil vor, obwohl der globale Restgasanteil durchaus dem Soll-Vorgaben entsprechen kann. In den Zonen mit keinem oder geringem Restgasanteil verbrennt der Kraftstoffanteil schnell und bei hohen Temperaturen, so daß hier keine nennenswerte NO<sub>x</sub>-Minderung auftritt. In den Zonen mit sehr hohem Restgasanteil bricht die Kraftstoffumsetzung zusammen, so daß das Abgas neben einer nur geringen NO<sub>x</sub>-Minderung erhöhte HC-Emissionen und eine Verminderung der abgegebenen Arbeit aufweisen kann. Daneben kann ein Verbrauchsanstieg sowie eine Laufruheverschlechterung auftreten, die zu einer Rücknahme der Sollvorgabe für die Abgasrückführrate führen und damit das NO<sub>x</sub>-Minderungspotential weiter einengen. Grundsätzlich ist es auch bei der Swirlbewegung zwar möglich diese Schichtung zu berücksichtigen, indem beispielsweise der Kolbenboden so ausgebildet wird, daß entweder bei der Kompression wieder eine Verwirbelung eintritt oder der eingespritzte Strahl in einen möglichst homogenen Bereich gelangt, erfindungsgemäß hat sich jedoch herausgestellt, daß durch Umstellung auf den Tumbledrall bessere, d. h. niedrigere NO<sub>x</sub>-Emissionswerte, insbesondere in Verbindung mit einem NO<sub>x</sub>-Sensor, erreicht werden können.

Die entstehenden höheren HC- und NO<sub>x</sub>-Emissionen können je nach Abgaskonzept, insbesondere durch selektive katalytische Reduktion, d. h. gegenseitige Reduktion und Oxidation, vermindert werden, so daß insgesamt wieder relativ niedrige Abgasemissionswerte erreicht werden können, dennoch geht dies zu Lasten des Verbrauchs und der Laufruhe der Brennkraftmaschine.

Wie in Fig. 2 dargestellt, erfolgt erfindungsgemäß auch eine innere Abgasrückführung (wie in Fig. 1) über Verstellung der Einlaß-Nockenwelle jedoch mit einem Tumble-Ladungsbewegungskonzept 17 (die Rotationsachse des angesaugten Gases liegt weitgehend quer zur Kolbenbewegung). Zu Beginn des Ansaugtaktes (Fig. 2a, Kolben 12 ist oben) befindet sich ebenso wie bei Fig. 1a ein hoher Restgasanteil 13 im Zylinderraum 11. Gegenüber dem Stand der Technik weist das erfindungsgemäße Verfahren jedoch den Vorteil auf, daß die anschließende Ladungsbewegung (Fig. 2b) zu einer intensiven Durchmischung des Restabgasanteils 13 mit dem angesaugten Frischgas 16 (gegebenenfalls angereichert mit Abgas durch die äußere Abgasrückführung) führt. Wie

aus Fig. 2c ersichtlich, trifft der eingespritzte Kraftstoff 18 somit auf ein Gasgemisch, dessen lokaler Restgasanteil nur wenig vom durchschnittlichen (globalen) Restabgasanteil abweicht (weitgehend homogene Mischung 15). Dies verhindert ein Erlöschen der Flamme (gezündet über Zündkerze 14) aufgrund zu hoher lokaler Restabgasanteile und führt gleichzeitig zu einer idealen NO<sub>x</sub>-Minderung im Rohabgas ohne Verschlechterung der HC-Emissionen bei hoher Laufruhe und niedrigem Verbrauch. Hierdurch können höhere Soll-Vorgaben für den Restabgasanteil im Frischgas gesetzt werden.

Dies ist in Fig. 3 dargestellt, aus der die geringere Streuweite der lokalen Abweichung des Restabgasanteils im Brennraum ersichtlich ist. Mit 30 ist der globale Restabgasanteil im Brennraum dargestellt. 31 zeigt den unerwünschten Bereich zu geringer NO<sub>x</sub>-Minderung (zu viel O<sub>2</sub>), 32 zeigt den unerwünschten Bereich mangelnder Kraftstoffumsetzung (CO/HC-Entstehung, zu viel Abgas). Kurve 33 steht für das Tumblekonzept, Kurve 34 zeigt höhere Inhomogenität beim Swirlkonzept. Erfindungsgemäß wird auch bei einer hohen Abgasrückführungsrate eine lokale Überschreitung des maximal zulässigen Restabgasanteiles beim Tumblekonzept weitestgehend vermieden.

Das in Fig. 4 dargestellte Gesamtkonzept zeigt einen Ausschnitt aus der Brennkraftmaschine 50, die einen Frischlufteinlaßkanal 51 aufweist, durch den im Schichtladungsbetrieb die einströmenden Frischgase zusammen mit über eine Abgasrückführungsleitung 68 zurückgeführten Abgasen über ein Tumbleblech 52 in einer Tumbleströmung 17 in den Brennraum 11 gelangt sind. Die rückgeführten Abgase werden über ein Ventil 67 von der Motorsteuerung 66 entsprechend den Betriebsbedingungen kontrolliert und werden zudem über einen EGR-Kühler 69 gekühlt. Dargestellt ist der Verdichtungsstakt wie in Fig. 2c, in dem der Kraftstoff 18 eingespritzt wird. Die Brennkraftmaschine 50 weist weiterhin eine Einlaßnockenwelle 55 und eine Auslaßnockenwelle 56 auf, die über Schleppebel 54 bzw. 57 die Einlaßventile 53 bzw. Auslaßventile 59 tätigen. Untergebracht sind diese im Zylinderkopf 58. Durch Offenstellung der Ventile 53 und 59 wird die Füllung des Brennraums 11 mit Abgas 13 (Fig. 2a) erreicht. Während des Kompressionsvorgangs sind die Ventile 53 und 59 geschlossen.



Nach erfolgter Verbrennung fährt der Kolben 12 wieder nach unten und die Auslaßventile 59 werden geöffnet, so daß die Abgase 60 in den Abgaskrümmern 70 strömen. Hierbei strömen sie an einer Lambdasonde 61 vorbei, die als Breitbandlambdasonde ausgelegt ist und zur Bestimmung des Lambdawertes von fett bis mager dient. Anschließend durchströmen die Abgase 60 einen Vorkatalysator 62, der als 3-Wege-Katalysator ausgebildet ist. Hierbei können bereits CO und HC mit dem vorhandenen Sauerstoff zu CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O umgesetzt werden, außerdem erfolgt eine Oxidation von NO zu NO<sub>2</sub>. Nach dem Vorkatalysator 62 ist ein Temperatursensor 63 angeordnet, der der Überwachung (OBD) des Katalysators 62 dient. Im weiteren Verlauf strömen die Abgase in einen NOx-Speicherkatalysator 64, der die Stickoxide insbesondere absorbiert. Mit steigendem Füllgrad erfolgt ein zunehmender NOx-Schlupf durch den NOx-Speicherkatalysator 64, der von dem NOx-Sensor 65 erfaßt wird. Dieses Signal wird von der Motorsteuerung 66 dahingehend ausgewertet, daß bei Überschreitung eines bestimmten Wertes eine Regeneration des NOx-Speicherkatalysators 64 zu erfolgen hat. Dies erfolgt durch einen kurzzeitigen (bis ca. 5 sek.) Fettbetrieb der Brennkraftmaschine 50, wobei H<sub>2</sub>, CO und HC in den NOx-Speicherkatalysator 64 gelangen und mit den unter diesen Betriebsbedingungen freigesetzten NOx zu N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> reagieren. Anschließend wird wieder auf Magerbetrieb umgestellt.

Die Regeneration wie auch ein Hochlastbetrieb werden vorteilhaft unter homogenen Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine 50 durchgeführt, bei denen die Anströmung 71 des Tumbleblechs 52 flachgestellt wird (an die Wandung des Einlaßkanals 51 gelegt), so daß die Frischgase des Tumbleblechs 52 vorbeiströmen und hierdurch kein Tumbledrall im Brennraum 11 erfolgt.

Bei einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine, insbesondere einem Ottomotor, mit geschichtetem Magerbetrieb und innerer Abgasrückführung ist eine NOx-reduzierende Abgasnachbehandlung mittels eines NOx-Speicherkatalysators vorgesehen. Zur Erzielung höchstmöglicher Abgasrückführungsraten bei niedrigsten HC- und NOx-Emissionswerten ist für die einströmenden Frischgase, die gegebenenfalls rückgeführtes Abgas einer äußeren Abgasrückführung enthalten können, eine Tumbleströmung vorgesehen, so daß die Drallachse der einströmenden Frischgase weitgehend quer zur Kolbenbewegung verläuft. Hierdurch wird eine emissionsmindernde optimale Vermischung des Zylinderinnenraums beim geschichteten Magerbetrieb erreicht.

K 8379/1770-hvb-as

## PATENTANSPRÜCHE

1. Direkteinspritzende Brennkraftmaschine mit einer NOx-reduzierenden Abgasnachbehandlung, einer inneren Abgasrückführung, einem geschichteten Magerbetrieb und einem Drall im einströmenden Frischgas, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Drall eine Drallachse hat, die überwiegend quer zur Kolbenbewegung verläuft.
2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Drall eine Tumblebewegung ist.
3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Drall durch ein Tumbleblech im Ansaugkanal erzeugt ist.
4. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** sie fremdgezündet bzw. ein Ottomotor ist.
5. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** sie zusätzlich eine äußere Abgasrückführung hat.
6. Brennkraftmaschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die äußere Abgasrückführung gekühlt und/oder mit einem Regelventil versehen ist.
7. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Drallachse im Bereich 75° bis 105° zur Kolbenbewegung liegt.

8. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Abgasnachbehandlung ~~mittels eines NOx-Speicherkatalysators~~ erfolgt.
9. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Abgasnachbehandlung durch einen NOx-Sensor kontrolliert erfolgt.
10. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die innere Abgasrückführung durch Verstellen der Einlaßventilöffnungszeiten in Richtung früh erfolgt.

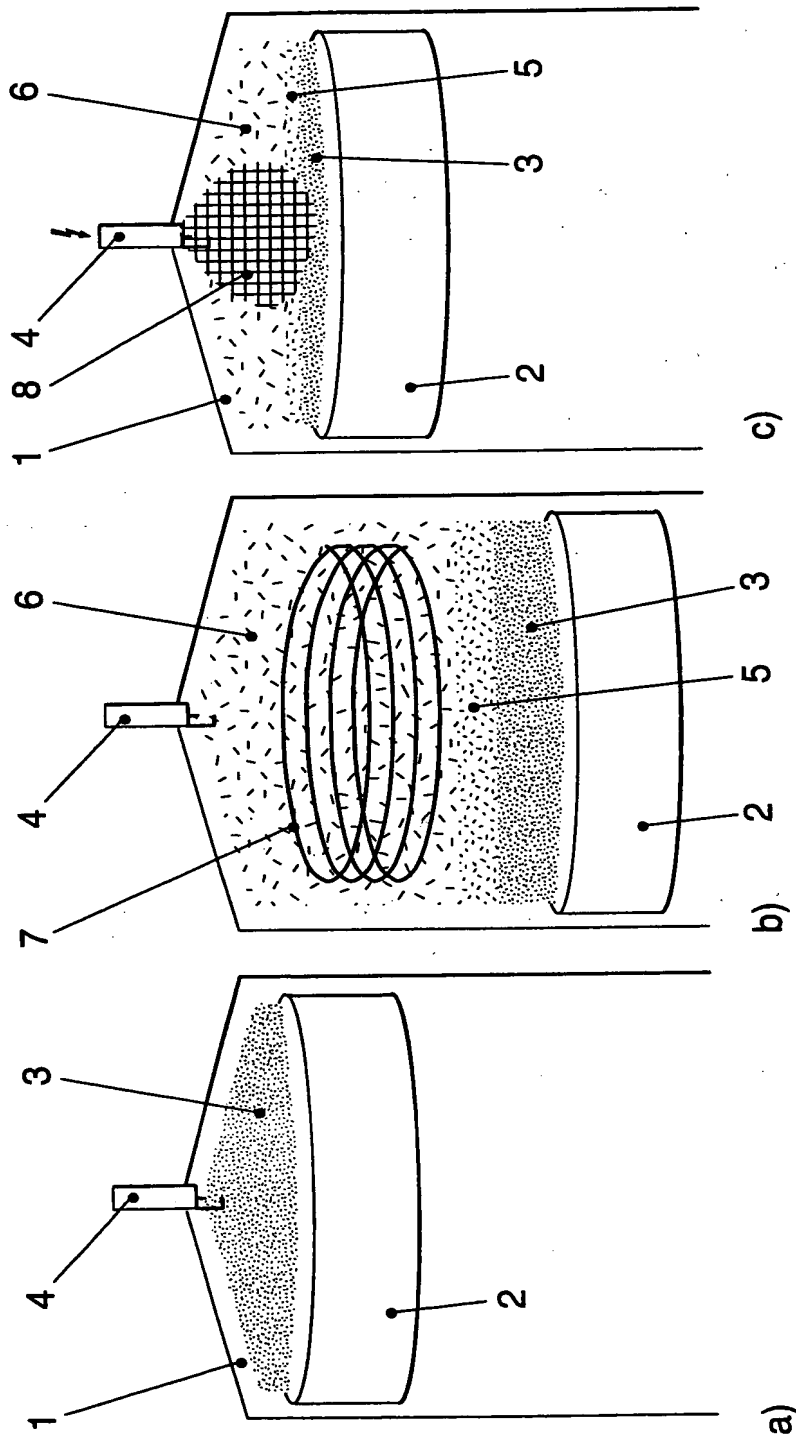


FIG. 1

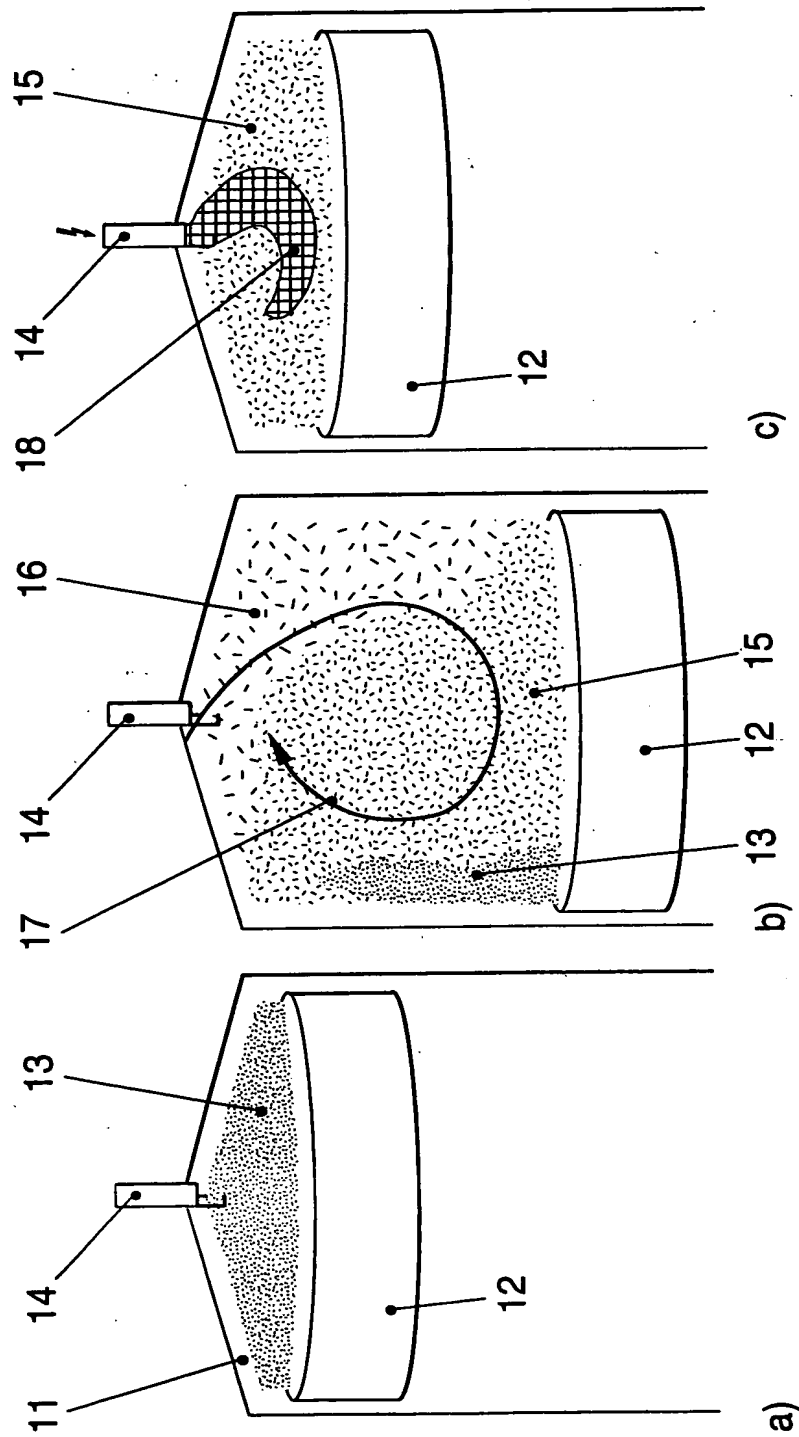


FIG. 2

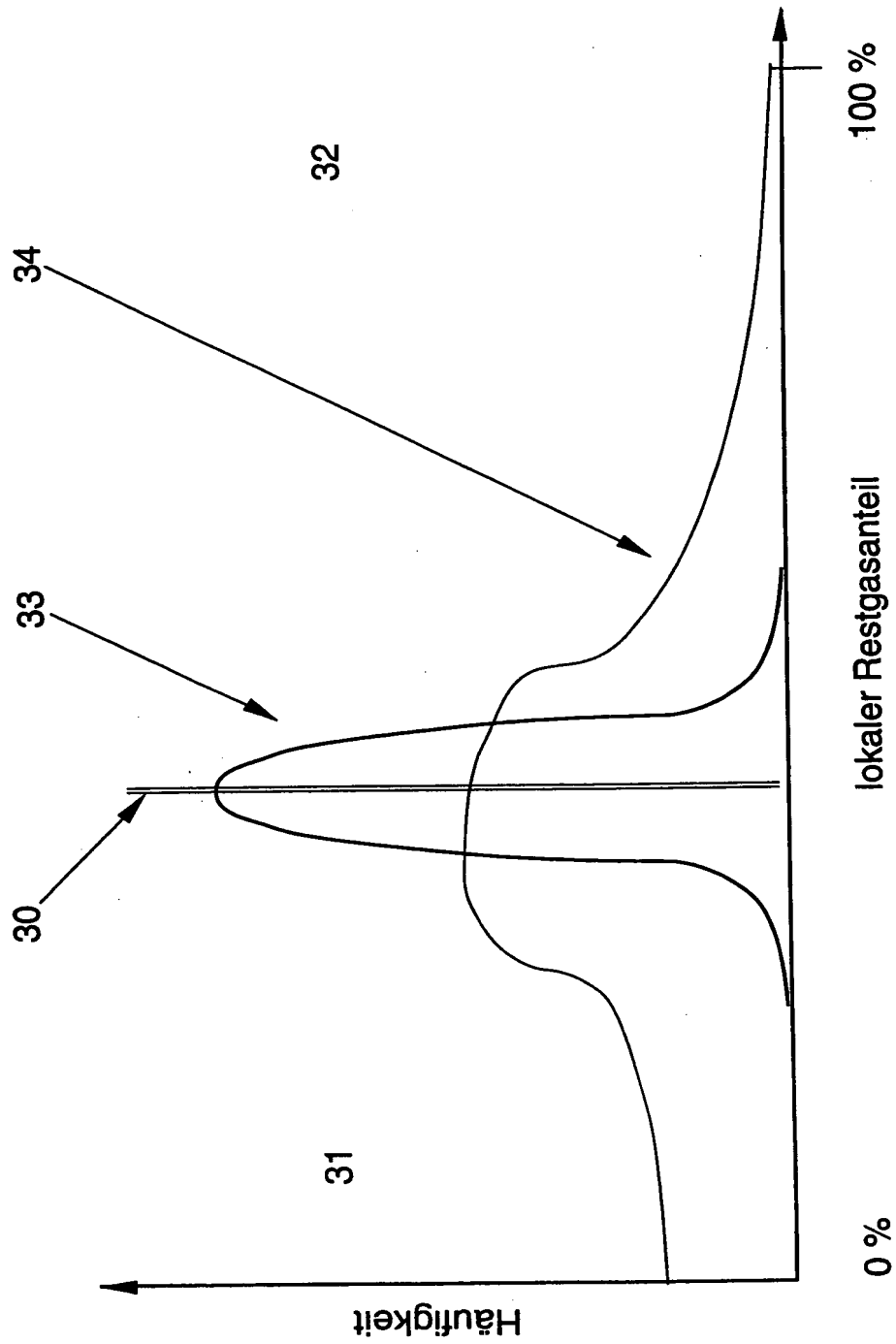
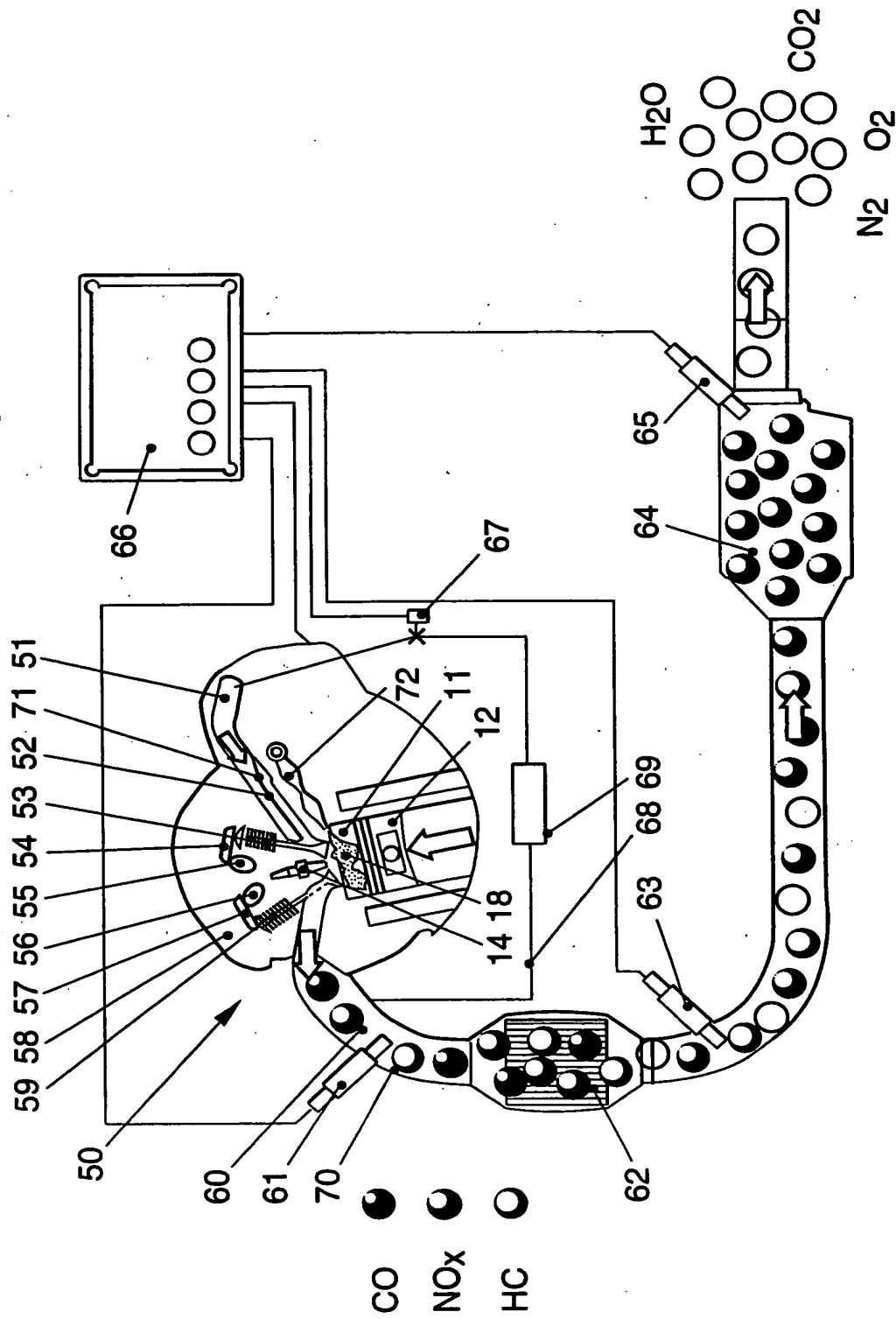


FIG. 3



**FIG. 4**

K 8379/1770-hvb-as

## **ZUSAMMENFASSUNG**

### **Direkteinspritzende Brennkraftmaschine mit NOx-reduzierter Emission**

Bei einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine, insbesondere einem Ottomotor, mit beschichtetem Magerbetrieb und innerer Abgasrückführung ist eine NOx-reduzierende Abgasnachbehandlung mittels eines NOx-Speicherkatalysators vorgesehen. Zur Erzielung höchstmöglicher Abgasrückführungsraten bei niedrigsten HC- und NOx-Emissionswerten ist für die einströmenden Frischgase, die gegebenenfalls rückgeführtes Abgas einer äußeren Abgasrückführung enthalten können, eine Tumbleströmung vorgesehen, so daß die Drallachse der einströmenden Frischgase weitgehend quer zur Kolbenbewegung verläuft. Hierdurch wird eine emissionsmindernde optimale Vermischung des Zylinderinnenraums beim geschichteten Magerbetrieb erreicht.

(Fig. 2)



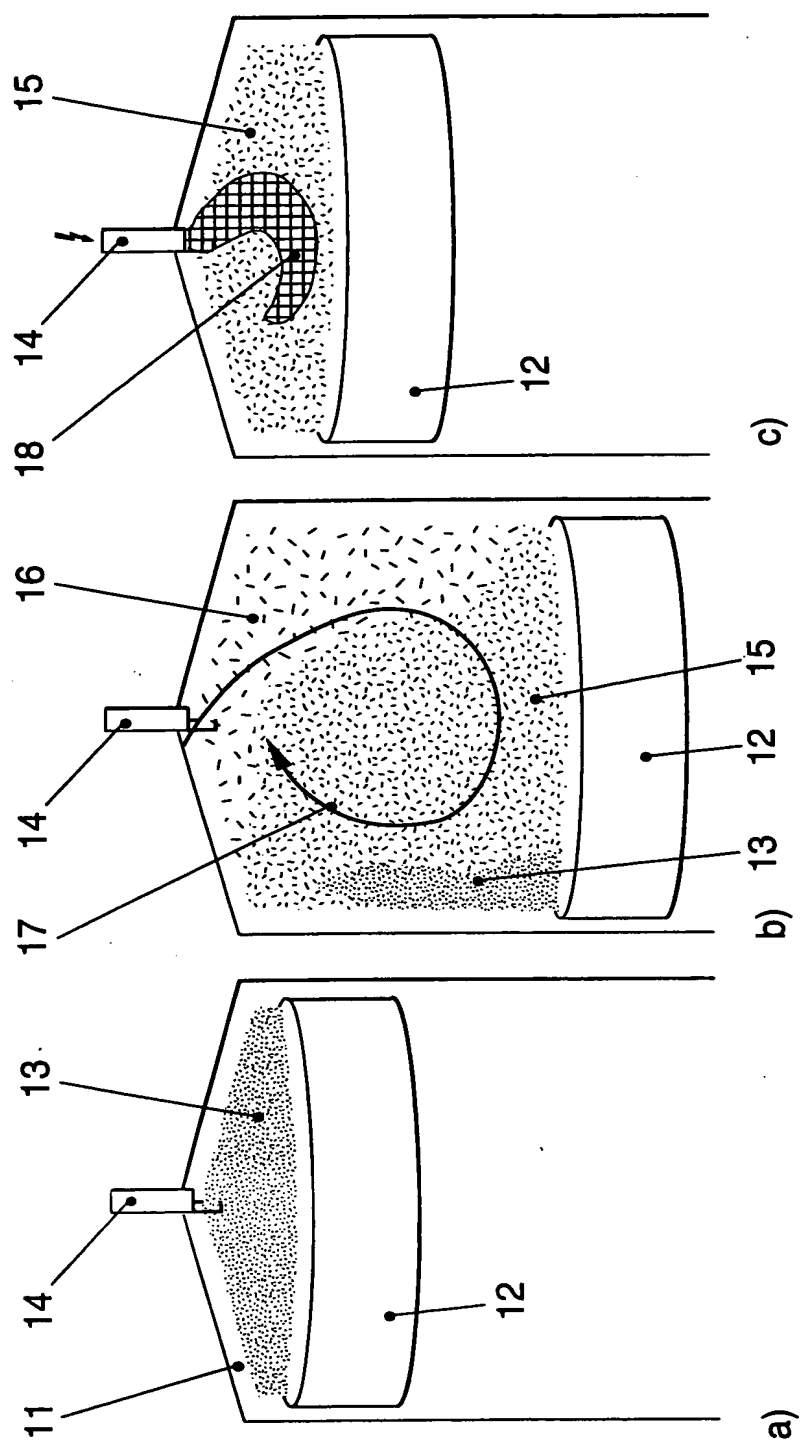


FIG. 2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**